



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. 0341 554166 Malang 65145

KODE  
PJ-01

**PENGESAHAN  
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**NAMA : D. SATRIA RAVIRA**

**NIM : 0710630020- 63**

**PROGRAM STUDI : TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

**JUDUL SKRIPSI : ANALISIS PENGARUH TEKNIK MODULASI ADAPTIF  
TERHADAP PERFORMANSI *VIDEO CONFERENCE* PADA  
JARINGAN *LONG TERM EVOLUTION* (LTE)**

**TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Ali Mustofa, ST., MT.**  
**NIP 19710601 200003 1 001**

**Sigit Kusmaryanto, Ir., M.Eng.**  
**NIP. 19700310 199412 1 001**

**ANALISIS PENGARUH TEKNIK MODULASI ADAPTIF  
TERHADAP PERFORMANSI *VIDEO CONFERENCE* PADA  
JARINGAN *LONG TERM EVOLUTION* (LTE)**

**Publikasi Jurnal Skripsi**



Disusun Oleh :

**D. SATRIA PRAVIRA**

**NIM :0710630020 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**

# ANALISIS PENGARUH TEKNIK MODULASI ADAPTIF TERHADAP PERFORMANSI VIDEO CONFERENCE PADA JARINGAN LONG TERM EVOLUTION (LTE)

D.Satria Pravira

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brwaijaya

Ali Mustofa, ST., MT. dan Sigit Kusmaryanto, Ir.M.Eng.

## ABSTRAK

*Video conference* merupakan suatu layanan yang bisa memenuhi keinginan seseorang untuk melakukan komunikasi dua arah secara *realtime*. *Video conference* membutuhkan *bandwidth* yang lebar untuk melakukan komunikasi antar *user* atau *multi-user* dengan *delay* yang seminimal mungkin. LTE (*Long Term Evolution*) merupakan salah satu solusi tepat untuk mendukung sistem *video conference*. Salah satu fitur yang diberikan LTE untuk mengoptimalkan kualitas jaringan adalah dengan menggunakan teknik modulasi adaptif. Untuk mengetahui pengaruh teknik modulasi adaptif terhadap performansi *video conference* pada jaringan LTE, maka dilakukan dengan perhitungan secara matematis terhadap nilai beberapa parameter meliputi batas *switching point* (jarak jangkauan maksimum) tiap-tiap modulasi, *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput*, kemudian dilakukan analisis mengenai besarnya parameter yang didapat terhadap jarak antara eNodeB ke UE dan melakukan simulasi dalam bentuk grafis. Berdasarkan hasil analisis, nilai *delay end to end* terendah adalah 306,5 ms dengan faktor utilisasi 1/15 untuk jarak UE dengan eNodeB sejauh 500 m dengan modulasi 64QAM 3/4, serta nilai *delay end to end* tertinggi yaitu 430,1 ms dengan faktor utilisasi 14/15 untuk jarak UE dengan eNodeB sejauh 3383,5 m dengan modulasi QPSK 1/2. Nilai probabilitas *packet loss* tertinggi yaitu  $6,0836 \times 10^{-4}$  pada jarak 1114,4 m dengan modulasi 64QAM 3/4 sedangkan nilai probabilitas *packet loss* terendah adalah  $1,0149 \times 10^{-4}$  pada jarak 3000 m dengan modulasi QPSK 1/2. Nilai *throughput* tertinggi yaitu 37,5533 Mbps pada saat jarak 500 m dengan modulasi 64QAM 3/4 dan nilai *throughput* terendah yaitu 29,7167 Mbps pada jarak 3383,5 m dengan modulasi QPSK 1/2.

**Kata kunci** – LTE, teknik modulasi adaptif, *video conference*

## 1 PENDAHULUAN

Era globalisasi telah membawa dampak yang begitu hebat terhadap teknologi telekomunikasi. Setiap orang merasa memiliki kebutuhan untuk mengetahui hal-hal baru menyangkut perkembangan dunia. Mereka sebagai pengguna layanan informasi dan komunikasi

menginginkan sesuatu yang *realtime* dan praktis. Ditambah dengan kebutuhan untuk melakukan komunikasi secara bergerak. Salah satu aplikasi yang sering digunakan adalah *video conference*.

*Video conference* adalah suatu teknologi telekomunikasi interaktif yang memungkinkan dua atau lebih tempat untuk saling berhubungan via transmisi audio dan video melalui dua jurusan yang dilakukan secara serempak. Sistem *video conference* ini sangat membutuhkan *bandwidth* yang lebar untuk mendukung komunikasi antar *user* maupun *multiuser*. Selain itu *delay* yang terjadi diharapkan seminimal mungkin agar komunikasi bisa berlangsung secara *realtime*. Sehingga hadirnya teknologi LTE (*Long Term Evolution*) untuk mendukung sistem *video conference* ini.

LTE merupakan evolusi dari jaringan UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) yang diproyeksikan sebagai teknologi generasi keempat. LTE dirancang untuk menyediakan efisiensi spektrum yang lebih baik dan mampu melakukan pengiriman data berkapasitas besar dengan *data rate* yang tinggi dengan menggunakan teknik OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *uplink*. Sistem LTE memiliki standar *bandwidth* mulai dari 1.4 MHz hingga 20 MHz dan dapat beroperasi baik pada frekuensi standar IMT-2000 (850 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz) maupun frekuensi baru seperti 700 MHz dan 2.5 GHz.

Salah satu teknologi penting pada LTE adalah penggunaan modulasi adaptif. Modulasi adaptif memungkinkan LTE mengatur pola sinyal modulasi dan teknik pengkodean sesuai kondisi *signal to noise ratio* (SNR) link radio, dimana pada kondisi link radio dengan kualitas yang baik, digunakan pola modulasi yang terbaik pula, sehingga menghasilkan sistem dengan kapasitas yang lebih besar. Untuk kondisi link radio yang buruk, sistem dapat beralih ke pola modulasi yang lebih rendah untuk menjaga kestabilan hubungan

Untuk mengetahui kinerja teknik modulasi adaptif terhadap performansi *video conference* bila digunakan pada jaringan LTE, maka akan dilakukan analisis terhadap beberapa parameter jaringan diantaranya adalah *delay end to end*, probabilitas *packet loss* dan *throughput*.

## II TINJAUAN PUSTAKA

### A. Long Term Evolution (LTE)

LTE adalah proyek berbasis OFDMA yang dikembangkan oleh 3GPP dalam rangka mengakomodasi peningkatan penggunaan *mobile data* dan aplikasi baru multimedia. Radio akses OFDMA pada LTE disebut sebagai E-UTRAN (*Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Keseluruhan arsitektur LTE disebut sebagai 3GPP EPS (*Evolved Packet System*), yang sebelumnya disebut arsitektur SAE (*System Architecture Evolution*).

### B. Teknik Modulasi Adaptif

Sistem modulasi adaptif melakukan perubahan jenis modulasi sesuai dengan kondisi *link* radio saat itu. Misalkan, saat kondisi *link* radio baik, maka akan meningkatkan nilai SNR sehingga dapat digunakan teknik modulasi yang menghasilkan *bit rate* tertinggi dengan BER yang rendah. Saat *link* radio buruk akan menurunkan nilai SNR sehingga memaksa penggunaan teknik modulasi dengan *bit rate* yang lebih rendah untuk mempertahankan reabilitas *link*. Ketika kondisi *link* baik maka modulasi 64-QAM akan dipilih untuk digunakan daripada modulasi QPSK karena memiliki *bit rate* lebih tinggi.



**Gambar 1.** Penggunaan Modulasi Adaptif pada Kondisi *Link* Radio yang Berbeda

### C. Video Conference

*Video conference* adalah seperangkat teknologi telekomunikasi interaktif yang memungkinkan dua pihak atau lebih di lokasi berbeda dapat berinteraksi melalui pengiriman dua arah *audio* dan *video* secara bersamaan. Jenis CODEC yang digunakan pada layanan *video conference* adalah G.711 untuk *audio* dan H.264 untuk *video* dengan *frame rate* sebesar 30 ms.

### D. Performansi teknik modulasi adaptif pada jaringan LTE untuk layanan video conference

#### 1) Analisis Batas Switching Point

Menentukan nilai  $R_{ss}$  (*Receiver Sensitivity*).

$$R_{ss}[\text{dBm}] = 10 \log(kTB) + SNR_{RX} + N_F \quad (1)$$

dimana:

$SNR_{RX}$  : *signal-to-noise ratio* (dB)  
threshold penerima (dB)

B : *bandwidth* (Hz)

$k$  : konstanta Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

$T$  : suhu *absolute* (290° K)

NF : *noise figure* (dB)

**Tabel 1.** Nilai  $SNR_{RX}$  beberapa tipe modulasi

Modulasi	Receiver SNR threshold (dB)
QPSK 1/2	2
QPSK 3/4	5,5
16-QAM 1/2	7,9
16-QAM 3/4	12,2
64-QAM 2/3	15,3
64-QAM 3/4	17,5

Menentukan batas *switching point* dengan mengganti nilai RSL dengan  $R_{ss}$ .

$$RSL = EIRP - L_{propagasi} + G_{rx} - L_{rx} \quad (2)$$

dengan

$$L_{propagasi}[\text{dB}] = A_{fs} + A_{bm} - G_t - G_r \quad (3)$$

$$A_{fs} = 92,4 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (4)$$

$$A_{bm} = 20,41 + 9,38\log_{10}(d) + 7,894\log_{10}(f) + 9,56[\log_{10}(f)]^2 \quad (5)$$

$$G_t = \log_{10}(h_t/200)\{13,958 + 5,8[\log_{10}(d)]^2\} \quad (6)$$

$$G_r = [42,57 + 13,7\log_{10}(f)][\log_{10}(h_r) - 0,585] \quad (7)$$

dimana:

EIRP : *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

$L_{propagasi}$  : rugi-rugi gelombang saat berpropagasi (dB)

$G_{rx}$  : penguatan antenna penerima (dBi)

$L_{rx}$  : rugi-rugi saluran penerima (dB)

$f$  : frekuensi operasi (MHz)

$d$  : jarak pemancar dan penerima (km)

#### 2) Analisis Delay End to End Video Conference pada Jaringan LTE

*Delay end to end* adalah total waktu keseluruhan yang dibutuhkan untuk mengirim data dari *server* sampai ke *user*. *Delay end to end* terdiri dari *delay codec* dan *delay jaringan* LTE.

$$t_{\text{end-to-end}} = t_{\text{CODEC}} + t_{\text{tot}} \quad (8)$$

#### a) Delay CODEC

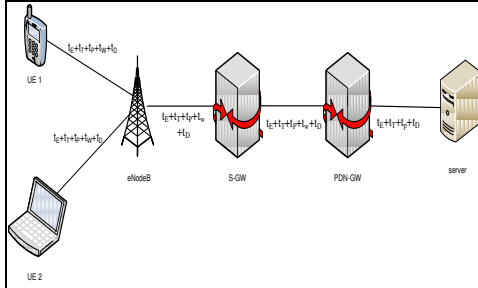
*Delay codec* adalah waktu yang dibutuhkan tiap paket data untuk mengubah suatu sinyal input menjadi nilai biner atau bit bit dan mengubah nilai biner atau bit bit menjadi suatu sinyal output seperti yang dikirimkan.

$$t_{\text{CODEC}} = t_a + t_v \quad (9)$$

dengan:

- $t_{\text{CODEC}}$  : *delay CODEC aplikasi video conference* (ms)
- $t_a$  : *delay CODEC audio G.711* (ms)
- $t_v$  : *delay CODEC video H.264* (ms)

b) Delay jaringan LTE



**Gambar 2.** Delay end to end jaringan LTE

$$t_{\text{TOT}} = t_{\text{proc}} + t_T + t_P + t_W \quad (12)$$

- Delay Proses

Delay proses pada jaringan LTE meliputi delay enkapsulasi dan delay dekapsulasi. Delay enkapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk menambahkan keseluruhan header pada sebuah paket. Sedangkan delay dekapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan keseluruhan header dari sebuah paket.

$$t_{\text{proc}} = t_{\text{Etotal}} + t_{\text{Dtotal}} \quad (13)$$

$$t_E = \frac{W_{\text{node}} - W_{\text{data}}}{C_{\text{node}}} \times 8 \quad (14)$$

$$t_D = \frac{W_{\text{node}} - W_{\text{data}}}{C_{\text{node}}} \times 8 \quad (15)$$

dengan:

$t_E$  = delay enkapsulasi (s)

$t_D$  = delay dekapsulasi (s)

$W_{\text{node}}$  = panjang paket data pada node (byte)

$W_{\text{data}}$  = paket data video conference (byte)

$C_{\text{node}}$  = kecepatan node (bps)

- Delay Transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan oleh sebuah informasi untuk meletakkan keseluruhan bit informasi pada media transmisi

$$t_T = \frac{W}{C} \quad (16)$$

dengan:

$t_T$  = delay transmisi (s)

$W$  = paket data pada node (byte)

$C$  = kecepatan node (bps)

- Delay Propagasi

Delay propagasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket data melalui media transmisi.

$$t_P = \frac{R}{c} \quad (17)$$

dengan:

$c$  = cepat rambat gelombang ( $3 \times 10^8$  m/s)

$R$  = jarak antar node (m)

- Delay Antrian

Delay antrian adalah waktu dimana paket data berada dalam antrian untuk ditransmisikan.

Untuk menghitung nilai kecepatan pelayanan pada node digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{C}{L} \quad (18)$$

keterangan:

$L$  = panjang paket data di node (bit)

$C$  = kecepatan transmisi pada node (bps)

Dengan mengasumsikan nilai faktor utilisasi ( $\rho$ ) maka laju kedatangan paket data ( $\lambda$ ) adalah:

$$\lambda = \mu \rho \quad (19)$$

keterangan:

$\rho$  = faktor utilisasi

Besarnya delay antrian pada node ditentukan dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987 : 42):

$$t_W = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu} \quad (20)$$

3) Probabilitas packet loss

Probabilitas packet loss total performansi aplikasi video conference pada suatu jaringan, ditentukan berdasarkan pada packet loss aplikasi video conference dan packet loss jaringan.

$$\rho_{\text{tot}} = 1 - [(1 - \rho_{\text{LTE}})(1 - \rho_{\text{VC}})] \quad (21)$$

keterangan:

$\rho_{\text{tot}}$  = packet loss total

$\rho_{\text{LTE}}$  = probabilitas packet loss jaringan LTE

$\rho_{\text{VC}}$  = probabilitas packet loss aplikasi

4) Throughput

Throughput merupakan jumlah data yang diterima dengan benar pada setiap satuan waktu. Besarnya throughput diperoleh dengan menggunakan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:129)

$$\lambda = \frac{1 - \rho}{t_t [1 + (\alpha - 1)\rho]} \quad (22)$$

dengan

$$\alpha = 3 + \frac{2t_p}{t_t} \quad (23)$$

keterangan:

$\lambda$  = throughput (Mbps)

$\rho$  = probabilitas paket salah

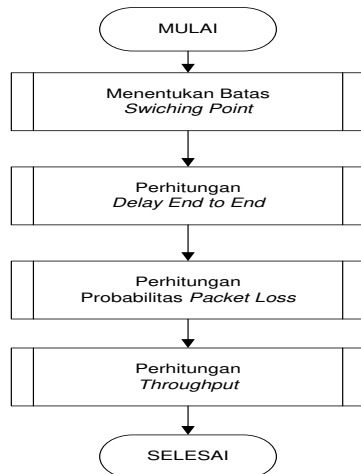
$t_t$  = waktu untuk mentransmisikan sebuah paket (detik)

$\alpha$  = konstanta propagasi

### III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain mengumpulkan data sekunder yang berupa parameter jaringan LTE dan parameter video conference, serta melakukan perhitungan performansi teknik modulasi adaptif untuk layanan video conference pada jaringan LTE meliputi delay end to end, probabilitas packet loss,

dan *throughput*. Perhitungan performansi yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:



**Gambar 3.** Diagram Alir Perhitungan

#### IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis kinerja teknik modulasi adaptif terhadap performansi *video conference* pada jaringan LTE.

##### A. Analisis Batas Switching Point

Nilai  $SNR_{RX}$  dimasukkan pada persamaan (1) sehingga didapat nilai  $R_{ss}$  masing-masing modulasi.

$$R_{ss}[dBm] = 10 \log(kTB) + SNR_{RX} + N_F$$

$$R_{ss}[dBm] = 10 \log(1,38 \times 10^{-23} \times 290 \times 10 \times 10^6) + 2 + 7$$

$$R_{ss}[dBm] = -94,9772$$

Untuk nilai  $R_{ss}$  tipe modulasi yang lain dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil perhitungan sensitifitas penerima

Modulasi	Receiver SNR threshold (dB)	Rss (dBm)
QPSK 1/2	2	-94,9772
QPSK 3/4	4,3	-92,6772
16-QAM 1/2	7,9	-89,0772
16-QAM 3/4	11,3	-85,6772
64-QAM 2/3	15,3	-81,6772
64-QAM 3/4	17,5	-79,4772

Perhitungan batas *switching point* untuk menentukan batas jarak dimana UE dapat menggunakan skema modulasi dan pengkodean tertentu dilakukan dengan persamaan (2) dan (3) dengan mengganti nilai  $RSL$  dengan  $R_{ss}$ .

$$RSL = EIRP - L_{propagasi} + Grx - Lrx$$

$$RSL = 77 - L_{propagasi}$$

dimana

$$L_{propagasi}[dB] = 99,6346 + 20 \log(d) + 24,5164 + 9,38 \log(d) + 11,5001 + 4,78[\log(d)]^2 + 19,4337$$

$$L_{propagasi}[dB] = 155,0848 + 29,38 \log(d) + 4,78(\log d)^2$$

sehingga

$$-94,9772 = 77 - L_{propagasi}$$

$$L_{propagasi} = 171,9772 \text{ dB}$$

$$155,0848 + 29,38 \log(d) + 4,78(\log d)^2 = 171,9772$$

$$29,38 \log(d) + 4,78(\log d)^2 = 16,8924$$

$$\text{misal } x = \log d$$

$$29,38 x + 4,78 x^2 = 16,8924$$

$$4,78 x^2 + 29,38 x - 16,8924 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_{1,2} = \frac{-29,38 \pm \sqrt{863,1844 + 499,6343}}{9,56}$$

$$x_1 = 0,5294$$

$$x_2 = -6,6758$$

Substitusikan  $\log d$  ke  $x$ , maka  $\log d = 0,7883$

$$d = 3,3835 \text{ km}$$

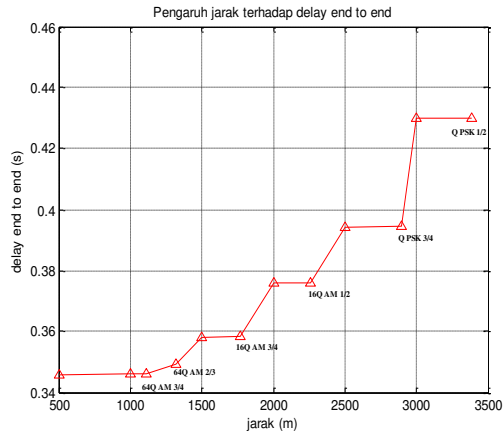
Untuk batas *switching point* tipe modulasi yang lain dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Batas Switching Point

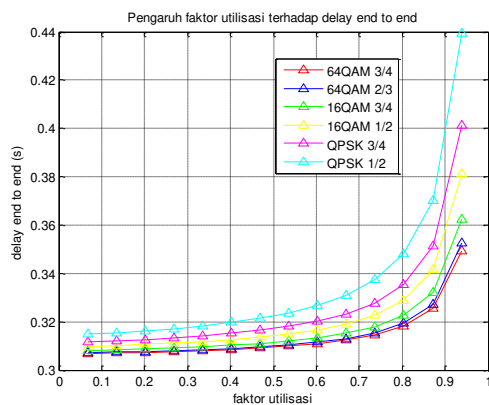
Jarak eNodeB dan UE (d)	Skema Modulasi dan Pengkodean
> 0 km - 1,1144 km	64-QAM $\frac{3}{4}$
> 1,1144 km - 1,3181 km	64-QAM $\frac{2}{3}$
> 1,3181 km - 1,7717 km	16-QAM $\frac{3}{4}$
> 1,7717 km - 2,2583 km	16-QAM $\frac{1}{2}$
> 2,2583 km - 2,8971 km	QPSK $\frac{3}{4}$
> 2,8971 km - 3,3835 km	QPSK $\frac{1}{2}$
> 3,3835 km	No Signal

##### B. Delay End to End

*Delay end to end* untuk aplikasi *video conference* pada jaringan LTE dengan modulasi adaptif terdiri dari *delay codec* dan *delay jaringan* LTE. Maka, dengan menggunakan persamaan (8) sampai (20)



**Gambar 4.** Grafik pengaruh jarak terhadap *delay end to end* dengan factor utilisasi 1/15



**Gambar 5.** Grafik pengaruh faktor utilisasi terhadap *delay end to end*

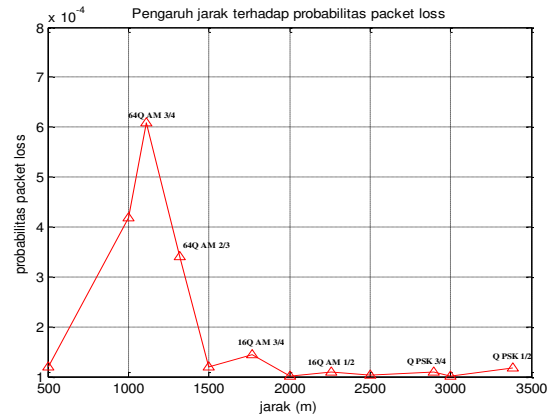
Semakin besar jarak antara eNodeB dan UE mengakibatkan *delay end-to-end* semakin besar karena waktu yang digunakan paket saat melakukan transmisi semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat dari meningkatnya *delay* propagasi seiring dengan pertambahan jarak jangkauan. Selain itu semakin jauh jarak menyebabkan jenis modulasi yang digunakan semakin rendah dimana semakin rendah tingkat modulasi laju data semakin kecil sehingga menyebabkan *delay* proses, *delay* transmisi, dan *delay* antrian semakin besar.

Faktor utilisasi mempengaruhi besar kecilnya *delay end to end*, pada semua modulasi. Semakin besar nilai faktor utilisasi akan mengakibatkan besarnya *delay* antrian, hal ini dikarenakan faktor utilisasi menandakan rasio banyaknya pemakaian pada jaringan tersebut dalam waktu yang sama. Jadi semakin banyak jumlah *user*, maka semakin besar *delay end to end*.

Nilai *delay* yang melebihi standar (ITU.T G.114) sebesar 400 ms terjadi pada jarak antara UE dengan eNodeB lebih dari 3000 m untuk faktor utilisasi 14/15 Komunikasi dianggap gagal meskipun kualitas gambar atau suara yang dihasilkan cukup baik.

### C. Probabilitas *Packet Loss*

Probabilitas *packet loss* total performansi aplikasi *video conference* pada suatu jaringan, ditentukan berdasarkan pada *packet loss* aplikasi *video conference* dan *packet loss* jaringan sesuai dengan persamaan (21).



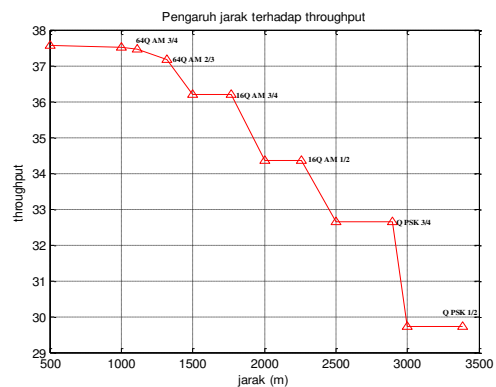
**Gambar 6.** Grafik pengaruh jarak terhadap probabilitas *packet loss*

Semakin besar jarak antara UE dengan eNodeB, maka semakin besar probabilitas *packet loss* untuk tipe modulasi yang sama. Ini dapat dilihat pada modulasi 64QAM 3/4 untuk jarak 500-1114,4 m. Pada saat terjadi perubahan tipe modulasi yang lebih rendah, terjadi penurunan probabilitas *packet loss*. Hal ini dikarenakan semakin rendah tingkat modulasi, maka semakin besar daya tahan terhadap interferensi dan noise.

Hasil prosentase *packet loss video conference* pada jaringan LTE masih masuk dalam range standar (ITU.T G.114) yaitu sebesar 1%.

### D. Throughput

Sesuai dengan persamaan (22) dan (23), didapatkan *throughput*



**Gambar 7.** Grafik pengaruh jarak terhadap *throughput*

Semakin besar jarak antara UE dengan eNodeB maka semakin kecil nilai *throughput* untuk tipe modulasi yang sama. Hal ini dikarenakan semakin besar jarak antara eNodeB dan UE akan menyebabkan nilai *delay* propagasi meningkat.

Penggunaan modulasi mempengaruhi jauh tidaknya jarak jangkauan eNodeB dan UE. Semakin jauh jarak jangkauan eNodeB-UE maka akan menurunkan nilai *throughput* sistem sehingga informasi berupa video yang dikirimkan memiliki kualitas yang kurang baik dibandingkan dengan jarak jangkauan eNodeB-UE yang dekat.

## V PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis untuk kinerja teknik modulasi adaptif terhadap performansi *video conference* pada jaringan LTE, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada model propagasi ECC-33 *Path Loss*, UE dengan jarak dari eNodeB sejauh 0 km – 1,1144 km akan mendapat sinyal 64-QAM  $\frac{3}{4}$ ; 1,1144 km – 1,3181 km akan mendapat sinyal 64-QAM  $\frac{2}{3}$ ; 1,3181 km – 1,7717 km akan mendapat sinyal 16-QAM  $\frac{3}{4}$ ; 1,7717 km – 2,2583 km akan mendapat sinyal 16-QAM  $\frac{1}{2}$ ; 2,2583 km – 2,8971 km akan mendapat sinyal QPSK  $\frac{3}{4}$ ; 2,8971 km – 3,3835 km akan mendapat sinyal QPSK  $\frac{1}{2}$ .
2. Berdasarkan hasil analisis *delay end to end video conference* pada jaringan LTE dapat disimpulkan bahwa:
  - a. *Delay end to end* yang terendah yaitu 306,5 ms dengan faktor utilisasi 1/15 untuk jarak UE dengan eNodeB sejauh 500 m dengan modulasi 64QAM  $\frac{3}{4}$ , serta *delay end to end* yang tertinggi yaitu 430,1 ms dengan faktor utilisasi 14/15 untuk jarak UE dengan eNodeB sejauh 3383,5 m dengan modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$ .
  - b. Semakin besar jarak antara eNodeB dengan UE maka semakin besar nilai *delay end to end*. Begitu juga dengan faktor utilisasi, semakin besar faktor utilisasi maka semakin besar nilai *delay end to end*.
3. Berdasarkan hasil analisis probabilitas *packet loss*, dapat disimpulkan:
  - a. Nilai probabilitas *packet loss* tertinggi yaitu  $6,0836 \times 10^{-4}$  pada jarak 1114,4 m dengan modulasi 64QAM  $\frac{3}{4}$  sedangkan nilai probabilitas *packet loss* terendah adalah  $1,0149 \times 10^{-4}$  pada jarak 3000 m dengan modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$ .
  - b. Nilai probabilitas *packet loss* akan semakin meningkat sesuai dengan peningkatan jarak antara UE dengan eNodeB untuk tipe modulasi yang sama. Apabila terjadi perubahan tipe modulasi ke tingkat yang lebih rendah maka probabilitas *packet loss* mengalami penurunan.

4. Berdasarkan analisis *throughput*, dapat disimpulkan :

- a. Nilai *throughput* tertinggi yaitu 37,5533 Mbps pada saat jarak UE dengan eNodeB sejauh 500 m dengan modulasi 64QAM  $\frac{3}{4}$  dan nilai *throughput* terendah yaitu 29,7167 Mbps pada jarak 3383,5 m dengan modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$ .
- b. Nilai *throughput* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak jangkauan BS-SS. Hal ini dikarenakan *delay* propagasi yang semakin meningkat sehingga mengakibatkan nilai *throughput* yang semakin kecil

### B. Saran

1. Melakukan analisis performansi dengan memperhatikan *frame rate*, *frame resolution*, dan *color depth* pada aplikasi *video conference*.
2. Melakukan analisis performansi dengan memperhatikan kecepatan pergerakan *user*

## VI DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ergen, Mustafa. 2009. *Mobile Broadband(WiMAX and LTE)*.USA : Berkeley, CA
- [2] Glatz, Eduard. 1999. *Self-Organized Topology Construction and Channel Allocation Radio Routers in Disaster Recovery*. Switzerland : University of Applied Sciences Rapperswil (HSR).
- [3] Goldsmith, Andrea. 2005. *Wireless Communications*. USA : Cambridge University.
- [4] Hara, Shisuke, Ramjee Prasaad. 2003. *Multicarrier Technique for 4G mobile communications*. London : Artech House.
- [5] Holma, Harri, Antti Toskala. 2009. *LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access Ebook*. New York : John Wiley & Sons, Inc
- [6] K. Fazel, S. Kaiser. 2008. *Multicarrier and Spread Spectrum Systems*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Khan, Farooq. *LTE for 4G Mobile Broadband*. 2009. New York : Cambridge University Press.
- [8] Rafiudin, Rahmat, *IP Routing dan Firewall*, Yogyakarta, Andi Publisher, 2006
- [9] Schwartz, Mischa. 1987. *Computer-Communication Network Design and Analysis*. USA : Addison Wesley Pub.
- [10] Sesia, Stefania, Issam Toufik, Matthew Baker. 2009. *LTE – The UMTS Long Term Evolution*. New York : John Wiley & Sons, Inc.